

振動制御に着目した中型ホブ盤の性能向上に関する研究

著者	小泉 晋
号	1309
発行年	1992
URL	http://hdl.handle.net/10097/10116

氏 名	小 泉 晋
授 与 学 位	博 士 (工 学)
学位授与年月日	平成 4 年 9 月 9 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最 終 学 歴	昭 和 32 年 3 月 東北大学工学部精密工学科卒業
学 位 論 文 題 目	振動制御に着目した中型ホブ盤の性能向上に関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 江村 超 東北大学教授 加藤 正名 東北大学教授 庄司 克雄

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 緒 論

円筒歯車の製作法のなかで、ホブを用いた創成切削加工法は、極めて生産性が高く、また、高い加工制度が得られるので、最も一般的に採用されている。

このようなホブを用いて創成切削加工を行う目的の工作機械は、ホブ盤と呼ばれており、1856年 Christain Schiele によって発明されて以来、上記の理由で、他の歯車製造法を圧倒して、急速に普及したのであるが、実は、このホブ盤には、大きな欠陥の存在することがわかってきた。すなわち、ホブ盤には通称「びびり (CHATTER)」と呼ばれているやっかいな振動現象があることが判ってきたのである。

ホブ盤においては、加工能率を上げようとして、切削速度を上げていくか、あるいは、送りを上げていくと、突然、あるいは切削条件から振幅の大きい激しい振動に襲われて、すなわち、びびり振動が生じて切削の継続が不可能となるのが通例である。これが「びびり」と呼ばれている現象である。(本論文では、このびびり振動の生ずる限界の切削条件の位置を連ねた曲線を加工限界曲線と呼称した。)

ホブ切り作業現場においては、びびり振動を懸念して、ホブ盤の主電動機能力のごく一部しか使用しないような安全領域での軽切削にとどめているのが実状である。したがって、ホブ盤を設計・製造する立場にあるものは、そのような事態を避けるべく、びびり振動の原因究明に全力で取り組み、最先端のコンピュータ技術を駆使して、振動の状態を理論的に解明しようとする努力を重ねてきたが、いまだに解決手段の糸口すら見つけていない。

小型ホブ盤*においては、昭和29年(1954)に㈱榎藤鉄鋼所が開発し、昭和31年(1956)の東京

*分類は、最大歯切径800mm以下を小型といい、800mmをこえ3200mm以下を中型、3200mmをこえたものを大型と呼称している業界の習慣に従っている。

国際工作機械見本市におい発表した KS-20型ホブ盤で、びびり振動を追放し、加工能率を飛躍的に向上させることに成功した。

しかしながら、中型ホブ盤や大型ホブ盤においては、以前としてびびり振動は未解決の大きな問題点として残されていたので、びびり振動の理論的な解明と、理論に裏付けられた有効な対策法の確立とが、急務の課題となっていた。そういう理由から、筆者は、昭和37年（1962）より、中型ホブ盤のびびり振動と取り組むことになった。

本論文は、このびびり振動を加振力とダンピングに着目して抑制することとし、特に問題になっている供試中型ホブ盤におけるびびり振動の発生原因を突き止めると共に、びびり振動を制御する種々の手法を開発して、ホブ盤の全仕様範囲から、びびり振動を完全に消滅させることに成功した研究成果について記した。また同時に、既設のホブ盤を改造する場合や、新たに高性能ホブ盤を設計・製作する場合の改造及び新設計指針も示した。

第2章 中型ホブ盤のびびり振動の測定と解析

第2章では、中型ホブ盤における歯切り時の振動挙動を、実際に数多くの歯車（約300個）を切削しながら振動計とオシログラフという原始的な方法で観測した。ホブの切れ刃ごとの衝撃でワークの自由振動が誘発されて、次第にその振動振幅が加算された形で大きくなり、ついには発散現象を起こす。これが、「びびり」という現象であろうと推測できた。

さらに観測の結果、びびり振動は、ホブ盤を構成する構成物の固有振動数ではなく、駆動系のねじり固有振動数に起因する自励振動であることを明確にできた。びびり振動の原因が、駆動系のねじり固有振動にあると解明できたことは大発見であり、以後のびびり振動対策は、駆動系のねじり剛性のみに絞ることができたのである。

なお、以上の研究途上で、ホブ盤の駆動系は、何れか一つの軸を基準に等価換算した円板の慣性モーメントと軸及び歯車の歯のバネとで一本の軸上に連ねて構成した多自由度非減衰ねじり振動系として、簡単でしかも、忠実にモデル化できたことを示した。また、そのモデル化した駆動系に対し、HOLZERの方法を用いて、用意に振動解析を行い得る手法も示した。

第3章 加振力に着目したびびり振動の抑制

びびり振動が、ホブ盤の駆動系の固有振動数に起因する自励振動ということが明確になれば、取るべき防振対策は、おのずと決まる。すなわち、揺り動かそうとする力が抵抗による負の仕事に打ち勝った時に、振動を発生させているのであるから、振動を保持する力の仕事量を少なくする対策（本論文では、加振力に着目したびびり振動の抑制とした）と、抵抗による仕事量を大きくする対策（本論文では、ダンピングに着目したびびり振動の抑制とした）との両対策に大別される。

第3章においては、実際に、上記の供試中型ホブ盤に対して、びびり振動を保持する力の仕事量を少なくする種々の対策を実施して、その効果を確認した。

びびり振動を保持しているエネルギーの供給源は、ホブそのものであるから、研究は、ホブ形状とびびり振動との関連の究明から始めた。研究の結果、びびり振動に成長する寸前の切れ刃を除い

てエネルギーの供給を絶つという対策が、この種のびびり振動には非常に有効であることが確認できた。

これらの研究成果から、びびり振動の生じ難いホブの開発に成功したが、このホブは、切刃数が少ないために、完全なインボリュート歯形に仕上げることはできないが、普通ホブに比べて1/3程度のコストで製作できる上に、砥ぎ直し時間も少ないので、大モジュール歯車の荒切削用として実用化され、現在も盛んに使用されている。

第4章 ダンピングに着目したびびり振動の抑制

第4章においては、もう一方の対策、すなわち、抵抗による仕事量を大きくする種々の対策を供試中型ホブ盤に実施して、その効果を確かめた。

抵抗による仕事量を高める方法には、一般的に、摩擦を利用したブレーキやダンパが考えられるが、第2章で明らかにしたように、びびり振動の原因は駆動軸系のねじり振動なので、駆動系へのブレーキやダンパ対策が最も有効な手段であることを実験で示した。

テーブル摺動面の摩擦を利用したブレーキは、回転速度の遅いテーブル駆動系に対して非常に有効であった。また、メカニカルブレーキを付加する対策も有効な手段であることを実験により確かめた。このようなテーブルの回転方向へ抵抗をもたせる対策は、加工限界曲線の位置を大きく移動させることに成功した唯一の対策であった。また、回転の速いホブ軸系には、習慣に摩擦を付加したダンパ（Lanchester damper）を用いて減衰性を高める対策が有効であった。

さらにまた、軸周辺の構造物も、つなぎ目の処置とか、基礎とのつなぎ方（据え付け方法）などを変えて振動に対する減衰性を高める研究を行い、いずれの場合においても、顕著な効果が得られたことを示した。

第5章 びびり振動を抑制した中型ホブ盤の設計

第5章は、2章、3章及び4章の総括であり、ホブ盤駆動系のねじり動特性に注目したびびり振動対策により、能率の悪かったホブ盤でも、主電動機的能力一杯までの加工が可能となり得る可能性について示した。また、研究の成果をまとめて、新設計機に対する設計指針を作り、実際の新型ホブ盤 HH-150C 型の設計・製作に適用した。

新設計機は、びびり振動の完全追放に成功し、種々の切削試験において、驚異的な加工性能を発揮して、このホブ盤の加工仕様の範囲における送り量の方にも、切削速度の方にも加工限界曲線は、もはや存在しないことを証明するとともに、本論文で論じてきたびびり振動に対する解釈、また、それから派生した種々の対策が正しかったことを裏付けた。

第6章 振動抑制の大型ホブ盤への適用

第6章では、上述した中型ホブ盤で展開した理論を、大型ホブ盤にまで拡大し、大型ホブ盤にも適用できるかどうかの検証を行ったことについて述べた。

供試大型ホブ盤には、第5章で得た経験をもとに、従来機の問題点を抽出してフルモデルチェン

ジを行った。完成した新鋭機では、びびり振動は完全に消滅しており、第5章で得た指針は、大型機にも適用できることを実証した。

しかしながら、新設計機には、時折チャタリング(chattering)と称する歯面劣化現象が起きていたので、次にその原因を追求した。

その結果、駆動軸系の固有振動がホブガッシュ毎の衝撃とその高調波によって励起され、共振現象を起こすと共に、コラム本体の振動もホブを介してワークを加振して歯面を劣化させていることが解明できた。その際、駆動系のねじり固有振動数に対しては、中型ホブ盤で既に研究済みのHOLZERの方法で裏付けを行った。続いて、以上の解析結果から、良質の歯面を得るためには、切削条件の選定が大切であることを述べ、切削条件選定方法を明らかにし、実際に、選定した最良の切削条件で切削を行い、考え方の正しいことを立証した。

なお、研究途上で、チャター痕と称する歯面に傷の入る不安定現象に遭遇したが、その原因が、供給電源の直流交換機の応答特性に起因していたことを突き止め、対策法を立案して解決した。

第7章 結 論

第7章は、本論文の総括であり、本研究の主要な成果として、ホブ盤におけるびびり現象の原因がホブ盤駆動系の固有振動数に起因する自励振動であることを突き止め得たため、びびり振動を完全に消滅させる対策が確立できたこと。その結果、高性能中・大形ホブ盤の新設計・製作する場合の設計指針を示すことが出来たこと。また、びびり振動の激しい既設のホブ盤に対しても、どのようにすれば良いかという対策法について示し得たことなどを本論文の結論とした。

審 査 結 果 の 要 旨

歯車の量産工場ではホブ盤が多用されている。しかし、ホブ盤はびびり振動を誘発するため生産性を高めることが必ずしも容易ではなかった。本論文は、主として中型ホブ盤の性能向上を目的として、びびり振動の発生メカニズムを明らかにするとともに、びびり振動を抑制する手法について論じ、実際のホブ盤に適用した研究成果をまとめたもので、全編7章よりなる。

第1章は、緒論であり本研究の背景と目的について述べている。

第2章では、はじめにホブ盤の加工限界曲線を取りあげ、加工限界曲線とびびり振動が密接な関係にあることを述べている。次に、びびり振動の発生メカニズムを明らかにするために、中型ホブ盤のびびり振動の測定を行い、測定結果が動力伝達系ねじり振動のホルツァ法による解析結果によく合うことを示している。

第3章では、切削による加振の周期を振動の減衰時間に比べて十分長くとることにより、びびり振動の成長を防いで加工能率を低下させることなくホブ切りを可能とする方法を提案している。また、この方法を可能とする特殊ホブを試作し、提案の正しさを示している。これは、独創的な提案である。

第4章では、ダンピングに着目したびびり振動対策について論じている。解析により、ワーク軸については、V溝型の摩擦ダンパーをワークテーブルの摺動面に組み込むことが有効であることを示し、実験により考えの正しさを確認している。また、ホブ軸については、従来から用いられているフライホイールをランチェスタダンバに変更することが、びびり振動を抑制する上において効果的であることを示している。

第5章では、びびり振動を抑制した中型ホブ盤の設計・試作について述べている。試作のホブ盤は、びびり振動を極めて起こし難く、量産型ホブ盤に適している。これは、工業的に有用な成果である。

第6章では、中型ホブ盤で得られた成果の大形ホブ盤への適用、およびコラムの固有振動数の影響を受け難い運転法の提案を行っている。

第7章は結論である。

以上要するに本論文は、加工能率を高めることが困難であったホブ盤の振動を解析し、びびり振動を誘起し難いホブを提案するとともに、ホブ軸とワーク軸に十分な吸振力を与えて重切削を可能とした中型ホブ盤の開発研究について述べたもので、精密工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。